

文章编号: 1674 - 5566(2014)06 - 0826 - 08

千岛湖刺网渔获物中鱼类群落结构及多样性特征分析

侯文华, 胡梦红, 刘其根

(上海海洋大学 农业部水产种质资源与利用重点开放实验室, 上海 201306)

摘要: 2010 年 7 月 - 2011 年 10 月、2012 年 3 月 - 2013 年 2 月对千岛湖三个湖区鱼类资源进行了调查, 同步测定透明度、总磷、总氮、叶绿素 a、硝酸盐氮、氨氮、温度等水质指标。本研究调查了 54 种鱼, 隶属 6 目 11 科。其中鲤形目 (39 种) 种类最多, 占调查物种总数的 72.2%。根据栖息环境和洄游方式、栖息水层的垂直分布、食性类型对调查鱼类进行生态类型划分。细鳞鲌 (*Xenocypris microlepis*)、大眼华鲮 (*Sinibrama macrops*)、蒙古鲌 (*Culter mongolicus*)、翘嘴鲌 (*Culter alburnus Basilewsky*) 等湖泊定居性中小型鱼类为主要优势种。用个体数和生物量两种方法计算千岛湖鱼类群落多样性指数, 表现为不同湖区存在差异且总体偏低。物种丰富度指数 D_N 、 D_W 分别为 1.72 和 0.74, 多样性指数 H'_N 、 H'_W 分别为 1.40 和 1.41, 均匀度指数 J'_N 、 J'_W 分别为 0.70 和 0.71。

研究亮点: 主要采用多种单层刺网对千岛湖鱼类群落及多样性特征进行调查分析, 同时注重了对外来鱼类出现和分布的调查, 鱼类群落结构和多样性具有时空变化, 且不同网具有着不同渔获物组成, 对保持千岛湖鱼类群落结构和对外来鱼类的监管提供基础资料。

关键词: 群落结构; 多样性特征; 千岛湖; 优势种; 外来鱼类

中图分类号: S 917

文献标志码: A

鱼类种群结构的变化是对人为影响及其水域环境变化的响应, 其相关过程的演变不仅可能导致渔业功能的退化, 也会使湖泊生态系统失去自我调控的重要功能, 因此保持湖泊鱼类群落结构的合理性是湖泊管理和生态系统恢复的关键^[1]。随着流域经济的快速发展, 湖泊的水体环境质量不断下降, 蓝藻水华频发^[2], 千岛湖在 1998 - 1999 年连续两年爆发蓝藻水华, 刘其根等^[3]进行了以投放鲢、鳙和控制凶猛鱼类为主的保水渔业实验, 证实人为影响与水体环境的变化可改变鱼类的种群结构。

生物多样性被认为是该生态系统提供和维持其功能的关键^[4]。国际上, 水生生态系统及其生物多样性的研究很多。MESSMER 等^[5]研究发现珊瑚礁鱼类的种群结构很大程度上取决于栖息地珊瑚的生物多样性。JEPPESEN 等^[6]根据总磷梯度的不同, 研究丹麦 71 个湖泊的营养结构、

物种丰富度和生物多样性。

本研究采用单层刺网捕获的方法对 2010 - 2012 年千岛湖鱼类群落结构和多样性的空间分布特征进行了调查。同时注重对外来鱼类出现频率和分布的调查。鱼类群落结构和多样性具有时空变化, 且不同网具有着不同渔获物组成, 所以本研究可对保持千岛湖鱼类群落结构的合理性和对外来鱼类的监管提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 研究地点

千岛湖原名新安江水库, 是 1959 年新安江水库大坝建成后形成的巨大人工湖, 位于浙江省淳安县境内 (29°22' ~ 29°50' N, 118°34' ~ 119°15' E), 其中新安江是最主要的入库地表径流, 占入库地表径流总量的 60% 左右。千岛湖虽经 50 年演变, 各区域仍具有分枝山谷型水库特征, 同时

收稿日期: 2014-03-23 修回日期: 2014-06-10

基金项目: 公益性行业 (农业) 专项 (201303056); 国家自然科学基金 (31072218); 教育部博士点基金项目 (20123104110002); 上海市教育委员会科研创新项目 (13YZ093); 上海高校青年教师培养资助计划 (ZZhy12001)

作者简介: 侯文华 (1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水生生物学。E-mail: hwh088@126.com

通信作者: 刘其根, E-mail: qgliu@shou.edu.cn

也具有湖泊型水库的典型性状。

本研究调查在东南湖区(富文)、西南湖区(汾口)、东北湖区(临歧)及其周围溪流进行(图1)。

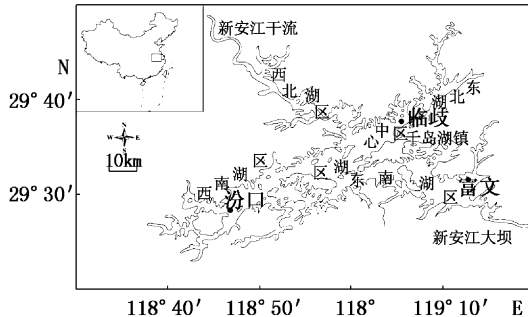


图1 千岛湖鱼类调查地点分布示意图

Fig.1 Fish sampling sites in Qiandao Lake

1.2 研究方法

于2010年7月-2011年10月和2012年3月-2013年2月期间对三个湖区鱼类资源进行调查,主要采用单层刺网(规格2005 m、3005 m;网目3.5~7.0 cm)并结合电捕的方法(表1)。同步测定透明度、总磷、总氮、叶绿素a、硝酸盐氮、氨氮、温度等水质指标。每次所采集的鱼类样品现场鉴定种类,进行全长、体长、体重等生物学测定,并记录鱼类数量和采集地点的相关数据。种类鉴定和生态类型划分参考相关文献[7-8]。

表1 实验使用网具的主要参数

Tab.1 Main parameters of nets used in the experiment

网具	网长	网高	网目大小
鳃流刺网	50 m	12 m	22 cm
翘嘴鲈流刺网	50 m	4~6 m	4~7.5 cm
鲢流刺网	50 m	4 m	6 cm
定置网	50~300 m	1~10 m	3.5~16 cm
电捕	直流、电压200~500 V、功率2~10 kW		

1.3 数据分析

鱼类群落多样性的数据分析运用下列公式^[9-10]。

Margalef 物种丰富度指数(D):

$$D = (S - 1) / \ln N \quad (1)$$

Shannon-Wiener 多样性指数(H'):

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \times \ln p_i \quad (2)$$

Pielou 均匀度指数(J'):

$$J' = H' / \ln S \quad (3)$$

式中: S 为种类数; N 为总尾数; p_i 为*i*种鱼所占的比例。

相对重要性指数(I_{IR})被用来研究鱼类群落优势种的成分^[11]:

$$I_{IR} = (N\% + W\%) \times F\% \quad (4)$$

式中: $N\%$ 为某一种类的尾数占总尾数的百分比; $W\%$ 为某一种类的质量占总质量的百分比; $F\%$ 为某一种类出现的站数占调查总站数的百分比。全部数据的统计分析采用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 进行分析。

2 结果与分析

2.1 鱼类组成及分布

本研究调查了54种鱼,隶属6目11科(表2),其中包括外来鱼类6种。调查显示千岛湖鱼类中鲤形目(39种)种类最多,占调查物种总数的72.2%;鲈形目和鲢形目各6种,其他3目各1种。千岛湖鱼类种类组成以鲤科占显著优势,其次是鳊科。东南湖区、西南湖区、东北湖区采集的鱼类分别为35、52、38种,各湖区鲤形目鱼类优势显著,分别占71.4%、69.2%、65.8%。

2.2 鱼类生态类型

根据鱼类栖息环境和洄游方式^[7],千岛湖鱼类存在3种生态类型(图2)。湖泊定居性鱼类:共有47种,为千岛湖鱼类的主体,占87%。除5种网箱逃逸的由国外引种的外来鱼类不确定外,均能在千岛湖内完成繁殖生长;海淡水洄游性鱼类:俄罗斯鲟(*Acipenser guldenstadtii*)、鳊(*Hyporhamphus intermedius*)共2种,占千岛湖鱼类物种总数的3.7%,其中外引种的俄罗斯鲟应是与鳊一样由于长期陆封,已经逐渐适应了千岛湖的生态栖息环境;江湖洄游性鱼类有青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)、鳊(*Elopichthys bambusa*)共5种。

按栖息水层的垂直分布划分,底层鱼类物种数最多,26种,占总数的48.2%;其次为中上层鱼类,16种,占总数的29.6%;中下层鱼类12种,占22.2%(图2)。团头鲂、斑点叉尾鲷和俄罗斯鲟为底层鱼类;大口黑鲈为中下层鱼类;两种太阳鱼为中上层鱼类。

参照鱼类食性文献资料和划分鱼类食性类

型的方法^[12],可将千岛湖的鱼类按其食性特点分为:浮游生物食性鱼类、周丛生物食性鱼类、虫藻食性鱼类、底栖动物食性鱼类、草食性鱼类、鱼虾食性鱼类、杂食性鱼类 7 类。以圆吻鲴 (*Distoichodon tumirostris*)、黄尾鲴 (*Xenocypris davidi*) 为代表的周丛生物食性鱼类数量最多,占总数的 33.3%;将外来鱼类大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 和绿色太阳鱼 (*Lepomis cyanellus*) 归为以鳊 (*Elopichthys bambusa*)、翘嘴鲌 (*Culter alburnus*) 为代表的鱼虾食性鱼类后,此类占总数的 24.1%;黄颡鱼 (*Pseudobagrus fulvidraco*)、银鲌

(*Squalidus argentatus*)、白边拟鲮 (*Pseudobagrus albomarginatus*) 等鱼类以水生昆虫为主要食物,兼食着生藻类、浮游动物等,故归为虫藻食性鱼类,占总数的 14.8%;鲫 (*Cyprinus carpio*)、鲤 (*Carassius auratus*) 等鱼类能吞食动植物食物,为典型的杂食性鱼类,并将外来鱼类斑点叉尾鲴 (*Ictalurus Punetaus*) 和蓝鳃太阳鱼 (*Lepomis macrochirus*) 归为此类,占总数的 12.9%;草食性鱼类、底栖动物食性鱼类、浮游生物食性鱼类分别占 5.6%、5.6% 和 3.7%。

表 2 千岛湖鱼类组成

Tab. 2 Composition of fish species in Qiandao Lake

种类	生态类型	2010 年			2011 年			2012 年		
		汾口	临岐	富文	汾口	临岐	富文	汾口	临岐	富文
鲟形目 Acipenseriformes										
鲟科 Acipenseridae										
俄罗斯鲟 <i>Acipenser guldenstadti</i>	M, P				+			+		
鲤形目 Cypriniformes										
鲤科 Cyprinidae										
鲴亚科 Danioninae										
宽鳍鱮 <i>Zacco platypus</i>	S, P				+			+		
马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	S, P			+		+	+	+		+
雅罗鱼亚科 Leuciscinae										
鳊 <i>Elopichthys bambusa</i>	M, P	+			+			+	+	
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	M, P	+			+				+	+
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	M, G		+	+	+	+		+		+
鲌亚科 Culterinae										
红鳍原鲌 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	S, P		+			+			+	+
团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	S, G	+	+	+	+	+	+	+	+	+
鲂 <i>Megalobrama skolkovii</i>	S, G			+	+					+
大眼华鲌 <i>Sinibrama macrops</i>	S, O	+	+	+	+	+	+	+	+	+
翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	S, P	+	+	+	+	+	+	+	+	+
蒙古鲌 <i>Culter mongolicus</i>	S, P	+	+	+	+	+	+	+	+	+
飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	S, O	+		+	+	+	+	+	+	+
青梢鲌 <i>Erythroculter dabryi</i>	S, P	+	+	+	+	+	+	+	+	+
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	S, O	+		+	+	+	+	+	+	+
鲴亚科 Xenocyprininae										
细鳞鲴 <i>Xenocypris microlepis</i>	S, O	+	+	+	+	+	+	+	+	+
黄尾鲴 <i>Xenocypris davidi</i>	S, O	+	+		+	+	+	+	+	+
圆吻鲴 <i>Distoichodon tumirostris</i>	S, O	+	+		+	+	+	+	+	+
似鲮 <i>Pseudobrama simoni</i>	S, G			+						+
银鲴 <i>Xenocypris argentea</i>	S, O					+		+		
鲢亚科 Hypophthalmichthinae										
鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>	M, P	+	+		+	+		+	+	+
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	M, G	+	+				+	+	+	+
鲮亚科 Acheilognathinae										
中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>	S, O							+		
高体鲮 <i>Rhodeus ocellatus</i>	S, O								+	

续表 2

种类	生态类型	2010 年			2011 年			2012 年		
		汾口	临歧	富文	汾口	临歧	富文	汾口	临歧	富文
鮡亚科 Gobioninae										
花鮡 <i>Hemibarbus maculatus</i>	S,P	+		+				+	+	
唇鮡 <i>Hemibarbus labeo</i>	S,P	+						+		
华鳊 <i>Sarcocheilichthys sinensis</i>	S,O	+			+			+		
小鳊 <i>Sarcocheilichthys parvus</i>	S,O									+
银鮡 <i>Squalidus argentatus</i>	S,O		+			+		+	+	
点纹银鮡 <i>Squalidus wolterstorfi</i>	S,O		+					+	+	
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	S,O							+		
建德小鳊 <i>Microphysogobio tafangensis</i>	S,O								+	
鲃亚科 Barbinae										
温州光唇鱼 <i>Acrossocheilus wenchowensis</i>	S,G						+	+		+
光唇鱼 <i>Acrossocheilus fasciatus</i>	S,O			+				+		+
鲤亚科 Cyprininae										
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	S,O	+		+	+	+				
鲫 <i>Carassius auratus</i>	S,O	+	+	+	+	+	+	+	+	+
平鳍鳅科 Homalopteridae										
原缨口鳅 <i>Vanmanenia stenosoma</i>	S,O		+						+	
鳅科 Cobitidae										
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	S,O		+			+			+	
大鳞副泥鳅 <i>Paramisgurnus dabryanus</i>	S,O			+	+		+		+	
中华花鳅 <i>Cobitis sinensis</i>	S,O			+	+				+	
鲇形目 Siluriformes										
鲇科 Bagridae										
黄颡鱼 <i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	S,P			+	+				+	
瓦氏黄颡鱼 <i>Pseudobagrus vachelli</i>	S,P		+	+		+			+	
圆尾拟鲇 <i>Pseudobagrus tenuis</i>	S,P		+			+	+		+	
白边拟鲇 <i>Pseudobagrus albomarginatus</i>	S,P				+				+	
长吻鲇 <i>Leiocassis longirostris</i>	S,P	+	+			+				
鲶科 Ictaluridae										
斑点叉尾鲶 <i>Ictalurus punctatus</i>	S,O		+	+	+	+	+	+	+	+
颌针鱼目 Beloniformes										
鱻科 Hemiramphidae										
鱻 <i>Hyporhamphus intermedius</i>	M,O	+	+						+	
合鳃鱼目 Synbranchiformes										
合鳃鱼科 Synbranchidae										
黄鳝 <i>Monopterus albus</i>	S,P									+
鲈形目 Perciformes										
鲈亚目 Percoidei										
鲈科 Serranidae										
鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	S,P	+		+					+	+
辐纹鳊 <i>Coreoperca whiteheadi</i>	S,P					+			+	+
虾虎鱼亚目 Gobioidi										
太阳鲈科 Centrarchidae										
大口黑鲈 <i>Micropterus salmoides</i>	S,P					+			+	+
蓝鳃太阳鱼 <i>Lepomis macrochirus</i>	S,O	+		+	+	+	+		+	+
绿色太阳鱼 <i>Lepomis cyanellus</i>	S,P			+	+	+			+	+
攀鲈亚目 Anabantoidei										
月鳢科 Channidae										
乌鳢 <i>Channa argus</i>	S,P	+			+	+			+	+

注: M. 洄游性鱼类; S. 定居性鱼类; P. 肉食性; O. 杂食性; G. 草食性; + 表示出现。

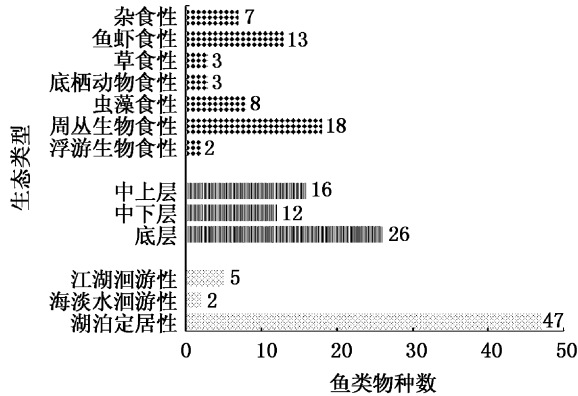


图2 千岛湖鱼类生态类型
Fig.2 Ecological guilds of the fish in Qiandao Lake

2.3 刺网渔获物优势种组成

调查分析了千岛湖东南湖区、东北湖区和西

南湖区的刺网捕获鱼类的相对重要性指数。根据已有资料显示鲢、鳙是优势种,但本研究使用刺网所捕获的全湖区域内各种鱼类的相对重要性指数 I_{IR} 值排在前 8 位的鱼类分别是细鳞鲴、大眼华鳊、蒙古鲌、翘嘴鲌、黄尾鲴、瓢鱼、青梢鲌、圆吻鲴(表 3)。不同湖区的优势种也不尽相同。东南湖区优势种为大眼华鳊和细鳞鲴,蒙古鲌、细鳞鲴和黄尾鲴是东北湖区的优势种,细鳞鲴、大眼华鳊和蒙古鲌则在西南湖区的优势度明显。全湖区域内刺网渔获物优势种中,细鳞鲴的 I_{IR} 值最高,大眼华鳊次之,蒙古鲌第三。此 3 种鱼的质量百分比占渔获物的 56.5%。值得注意的是,在东南湖区和西南湖区,外来移植种团头鲂 I_{IR} 值列第 9;东北湖区,斑点叉尾鲴 I_{IR} 值列第 10。

表3 千岛湖不同湖区的鱼类优势种组成及 3 种外来鱼类

Tab.3 Composition of dominant fish species and three alien species in different lake regions of Qiandao Lake

种类	全湖			东南湖区			东北湖区			西南湖区		
	N%	W%	I_{IR}	N%	W%	I_{IR}	N%	W%	I_{IR}	N%	W%	I_{IR}
蒙古红鲌	14.05%	19.20%	2 147.23	9.89%	12.58%	1 404.73	20.69%	31.37%	3 578.77	11.55%	13.66%	1 575.75
翘嘴红鲌	8.51%	10.81%	1 126.72	7.72%	14.37%	1 380.64	6.39%	5.90%	614.37	11.41%	12.16%	1 473.01
瓢鱼	8.42%	3.75%	405.57	8.80%	3.61%	465.58	11.88%	5.23%	320.73	4.56%	2.42%	305.38
大眼华鳊	22.57%	12.06%	2 524.65	29.89%	15.77%	3 139.41	14.56%	6.88%	1 339.95	23.25%	13.52%	3 217.18
细鳞鲴	19.43%	25.26%	2 979.31	24.24%	29.99%	3 050.61	11.37%	19.73%	1 943.78	22.68%	26.05%	3 959.76
黄尾鲴	8.40%	9.47%	967.92	5.33%	5.89%	490.76	15.45%	16.65%	1 805.96	4.42%	5.86%	642.77
圆吻鲴	2.75%	4.24%	276.74	1.85%	2.77%	115.40	1.40%	2.21%	135.58	4.99%	7.75%	716.76
青梢鲌	4.39%	4.51%	333.94	1.74%	2.10%	72.04	3.45%	3.23%	292.37	7.99%	8.20%	809.52
鳊条				5.54%	1.51%	176.37	10.34%	2.98%	249.81			
鲫										1.14%	0.78%	47.99
太阳鱼*	0.49%	0.29%	11.35	0.11%	0.13%	1.49	0.51%	0.26%	14.45	0.86%	0.47%	24.89
团头鲂*	1.30%	2.15%	93.30	1.52%	3.99%	103.44	0.51%	0.94%	27.24	1.85%	1.51%	147.25
斑点叉尾鲴*	0.69%	1.17%	31.08	0.22%	0.50%	8.94	1.15%	2.19%	62.69	0.71%	0.82%	28.80

注:表中列出了各湖区 I_{IR} 值在前 10 位的鱼类种类以及 3 种外来鱼类; * 表示外来鱼类,其中太阳鱼包括蓝鳃太阳鱼和绿色太阳鱼。
N% 为某一类尾数的尾数占总尾数的百分比,W% 为某一类质量占总质量的百分比。

2.4 鱼类生物多样性指数

千岛湖鱼类群落以生物量计算的物种丰富度(D)、多样性指数(H')和均匀度(J')不同湖区存在差异且总体偏低(图 3)。三种指标均用个体数和生物量两种方法计算,其中 D_N 的波动范围较大,为 0.52 ~ 3.00,均值为 1.72。除东南湖区的 H'_N 大于 H'_W 外,其他基于个体数的多样性指标均小于基于生物量的多样性指标。 H'_N 、 H'_W 的波动范围分别为 0.29 ~ 2.17,0.31 ~ 2.16, J'_N 、 J'_W 的波动范围分别为 0.27 ~ 0.96,0.29 ~ 0.93 (图 3)。

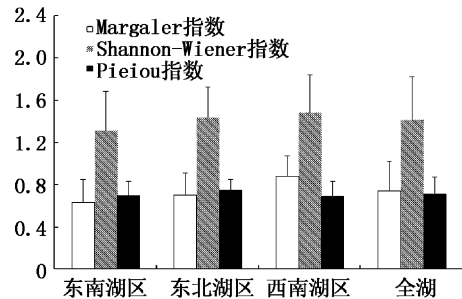


图3 千岛湖不同湖区鱼类群落 3 种多样性指数
Fig.3 Diversity indexes of fish community in different lake regions of Qiandao Lake

在千岛湖各湖区鱼类多样性判别指标中, D_N 、 D_W 、 H'_N 、 H'_W 的平均值均表现出西南湖区 > 东北湖区 > 东南湖区; 而 J'_N 、 J'_W 的平均值则表现出东北湖区 > 东南湖区 > 西南湖区(图 3)。此外, 本研究检验了鱼类生物多样性与湖泊环境因子之间的关系。结果表明, 丰富度指数 D_N 与氨

氮呈极显著正相关关系; D_W 与总氮、温度呈显著正相关; 多样性指数 H'_N 、 H'_W 与总氮、温度呈显著正相关, 与透明度呈显著负相关; J'_N 、 J'_W 与硝酸盐氮呈显著负相关; 各指数与总磷的正相关关系不显著, 与叶绿素无显著相关关系(表 4)。

表 4 多样性指数与环境因子之间的相关性
Tab. 4 Relations between diversity indexes and environment factors

环境因子	Margalef 指数		Shannon-Wiener 指数		Pielou 指数	
	D_N	D_W	H'_N	H'_W	J'_N	J'_W
透明度	0.083	0.273	0.377 *	0.333 *	0.3	0.185
总磷 TP	0.017	0.045	0.078	0.153	0.056	0.154
总氮 TN	0.151	0.343 *	0.328 *	0.452 **	0.143	0.276
叶绿素 a	0.02	0.16	0.142	0.086	0.036	0.056
硝酸盐氮	0.19	0.052	0.352 *	0.295	0.409 *	0.397 *
氨氮	0.420 **	0.015	0.248	0.07	0.055	0.033
温度	0.17	0.411 *	0.435 **	0.424 **	0.288	0.226

3 讨论

3.1 千岛湖鱼类群落组成的历史变化

20 世纪 60 年代, 上海水产学院调查记录鱼类 65 种, 1982 年, 徐亚君在《新安江(安徽江段)鱼类调查》一书中共记录了 113 种鱼。刘其根等^[12]在《千岛湖鱼类资源》一书中记述了自 2008 年 4 月至 2010 年 8 月共采集了 102 种鱼类, 本研究采集了 54 种, 分属 6 目 11 科。与以往调查结果相比, 本次研究采集的鱼类种类较少。

全球范围内, 由于大坝的形成而导致的江湖阻隔已经损害了鱼类栖息地和种群迁徙^[13]。由于新安江大坝的形成、妹滩水库的兴建, 阻断了长距离溯河洄游产卵通道, 洄游性鲢、花鲈、刀鲚、弓斑圆鲀等未出现在库区, 或不能在库区繁殖, 数量逐渐下降, 直至消失; 翘嘴鲌、鳊等增殖能力急剧下降, 加上过度捕捞, 种群数量急速减少。水库建成蓄水至标准水位高程时间为 19 个月, 此段时间, 利于性成熟早(1-2 龄)、生命周期短、饵料生物丰富的湖泊定居性鱼类如鲤(*Cyprinus carpio*)、鲫(*Carassius auratus*)、瓢鱼(*Pseudolaubuca sinensis*)、鲢条(*Hemiculter leucisculus*)、鳊(*Siniperca chuatsi*) 等的种群拓展, 成为湖区鱼类群落首发旺盛期的主要种类。自 1963 年起, 人工放流的江湖洄游性鱼类鲢、鳊, 迅速成为湖区鱼类的主导种类。本次研究中鲢、鳊的生物量很少, 是因为几乎未使用捕捞鲢、鳊的

专用网具。自水库形成后, 鱼类群落存在湖泊化规律, 即遵循鱼类的溪流性本底分布逐步被湖泊化效应分布所取代的规律。例如, 溪流中, 凶猛性鲇(*Silurus asotus*)、乌鳢(*Channa argus*)、黄鲢(*Monopterus albus*) 会是重要的凶猛鱼类, 而在湖泊化的库区中, 翘嘴鲌(*Culter alburnus*)、蒙古鲌(*Culter mongolicus*)、鳊(*Elopichthys bambusa*) 和鳊(*Siniperca chuatsi*) 等占居优势地位。千岛湖“四大家鱼”青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳊(*Aristichthys nobilis*) 的种群变动主要取决于人工放流和捕捞强度, 当然, 凶猛鱼类对种群变动仍有影响。

3.2 千岛湖外来鱼类的发展趋势

本次调查中, 采集到千岛湖本土移植外来种 1 种(团头鲂), 引自国外网箱养殖逃逸种类 5 种(俄罗斯鲟、斑点叉尾鲌、大口黑鲈、蓝鳃太阳鱼和绿色太阳鱼)。此外, 刘其根等^[12]调查发现本土外来种有陈氏短吻银鱼、中华倒刺鲃、银鲫、花鲈和丁鲶, 引进国外种有匙吻鲟、白鲫和尼罗罗非鱼, 共 14 种。

本研究将团头鲂、斑点叉尾鲌、蓝鳃太阳鱼和绿色太阳鱼作为主要讨论对象。优势种组成中, 在东南湖区和西南湖区, 外来移植种团头鲂 I_{IR} 值列第 9; 东北湖区, 斑点叉尾鲌 I_{IR} 值列第 10。团头鲂原产梁子湖和淤泥湖, 为本地移植种, 能在湖区水域中自然繁殖, 与本地种鲂

(*Megalobrama terminalis*) 存在生态位的重叠, 存在竞争关系。斑点叉尾鲷原产同纬度的北美水域, 能适应千岛湖的水温、盐度、酸碱度等环境因素, 经解剖发现肠(胃)含物中常有鱼、虾、螺等, 雌性腺都可发育到V期。两种太阳鱼在渔获物中也经常被发现, 解剖发现雌、雄鱼性腺发育良好。有研究称两种太阳鱼为鱼虾食性鱼类。若有可能在湖中繁殖, 扩大种群, 它们极有可能成为入侵者。

3.3 千岛湖鱼类种群多样性和环境因子的关系

MAGURRAN 提出多样性指数的一般范围(1.5~3.5)^[14], 千岛湖鱼类群落多样性指数 H' 在各湖区均表现偏低(1.31~1.48)。总体鱼类资源退化、鱼类种类数量减少和优势种的小型化、单一化都会导致生物多样性偏低^[15]。

水域环境因子的改变也是引起鱼类多样性变化的原因^[16]。因为透明度、总磷、总氮、叶绿素 a、硝酸盐氮、氨氮和温度等环境因子的综合复杂变化, 千岛湖不同湖区的多样性指标之间差异显著。多样性指数 D_N 、 D_W 、 H'_N 、 H'_W 的平均值均表现出西南湖区最高, 东北湖区次之, 东南湖区最低; 而 J'_N 、 J'_W 的平均值则表现出东北湖区最高, 东南湖区次之, 西南湖区最低。本次调查发现, 氮、磷营养盐浓度较高的东北湖区相对于浓度较低的西南湖区, 其多样性指数较低。这是因为营养盐浓度高的水域浮游生物资源丰富, 利于鲢、鳙的生长外, 还有利于小型浮游生物食性的鱼类迅速形成优势种群, 降低该水域的鱼类生物多样性^[17]。该湖区由于浮游生物的生物量较高, 水体中藻类悬浮颗粒物较多, 透明度低, 不利于肉食性鱼类的捕食。鱼类群落结构和多样性对环境因子的响应, 使得有着不同环境因子的湖区在鱼类种群组成和多样性上存在差别。

3.4 千岛湖渔业可持续发展

湖泊作为内陆水体蕴藏了多种优势资源, 但随着工业经济的高速发展, 湖泊, 特别是经济发达地区湖泊的渔业功能持续下降^[18]。千岛湖近年来大力开发旅游业和休闲渔业, 作为旅游、休闲、水源等的功能将越来越强, 但不可忽视保护好湖泊的生态环境是发挥其各项功能的首要前提。在湖泊多项功能正在开发、增强的千岛湖, 需要在兼顾水资源保护的同时, 合理开发湖泊渔业。

自2000年千岛湖开始实施“以鱼养水, 鱼水共生”的保水渔业实验。实验采取了基于生态渔业理论的生物调控措施。但千岛湖水体环境因当地生活污水、上游外源性物质的不断注入等情况, 水体富营养化必将愈发严重, 而水体富营养化会造成水生食物网营养基础失衡, 浮游藻类生物量迅速增长, 蓝藻水华频发, 进而引起水体溶氧降低、鱼类死亡, 其他水生生物的生物量和多样性下降, 生物系统的结构和功能受到破坏^[19-20]。以投放鲢、鳙为主的保水渔业自2000年在千岛湖开展以来, 有效地预防了水华的发生并对水质有一定的改善。

封库区和休渔制度的执行, 客观上限制了捕捞强度。部分水域实行季节性休渔, 同时对网具、网目等作出了新的规定, 渔民捕捞作业刺网网目为4.0~7.0 cm。禁止断江拦网、深水网箱、沉箱、地笼等作业方式, 并通过控制捕捞渔船数量, 压缩捕捞证发放数量, 严格控制捕捞强度。然而, 也要合理投放鲢、鳙鱼种, 增加野生优质鱼类放养品种并积极稳妥地引进适宜千岛湖的鱼类新品种, 以充分利用千岛湖的渔产力。保水渔业实施初期, 确保渔获量小于弥补量, 增加水库渔业存量。中期以后, 保持起捕和增补基本平衡^[21]。合理放养与捕捞策略是渔业生态系统良性循环的可靠保证^[22]。

网箱养殖渔业也是千岛湖渔业的重要组成部分。然而, 网箱养殖业具有两面性: 一方面, 它具有高产量、高经济效益的优势; 另一方面, 由于养殖过程中产生的大量排泄物和残饵直接排入水体, 破坏水环境, 造成污染。所以在发展养殖渔业时, 既要注意对养殖水环境的保护, 又要找到渔业发展和水环境保护的内在平衡关系和平衡点^[23]。

参考文献:

- [1] SCHEFFER M, CARPENTER S, FOLEY J A, et al. Catastrophic shifts in ecosystems [J]. *Nature*, 2001, 413 (6856): 591-596.
- [2] 秦伯强, 吴庆农, 高俊峰, 等. 太湖地区的水资源与水环境——问题, 原因与管理 [J]. *自然资源学报*, 2002, 17 (2): 221-228.
- [3] 刘其根, 王钰博, 陈立桥, 等. 保水渔业对千岛湖食物网结构及其相互作用的影响 [J]. *生态学报*, 2010, 30 (10): 2774-2783.
- [4] MORA C, ABURTO-OROPEZA O, BOCOS A A, et al.

- Global human footprint on the linkage between biodiversity and ecosystem functioning in reef fishes[J]. *PLoS biology*, 2011,9(4): e1000606.
- [5] MESSMERY V, JONES G P, MUNDAY P L, et al. Habitat biodiversity as a determinant of fish community structure on coral reefs[J]. *Ecology*,2011, 92(12): 2285 - 2298.
- [6] JEPPESEN E, PEDER J J, SONDERGAARD M, et al. Trophic structure, species richness and biodiversity in Danish lakes; changes along a phosphorus gradient[J]. *Freshwater Biology*,2000, 45(2): 201 - 218.
- [7] 陈宜瑜. 中国动物志, 硬骨鱼纲, 鲤形目(中)[M]. 北京:科学出版社,1998:95 - 123.
- [8] 朱松泉. 中国淡水鱼类检索表[M]. 南京:江苏科学技术出版社, 1995:42 - 54.
- [9] KREBS C J. *Ecological methodology*[M]. Benjamin/Cummings Menlo Park, California, 1999(1):15 - 31.
- [10] LUDWIG J A. *Statistical ecology: a primer in methods and computing*[J]. John Wiley & Sons,1988(1):23 - 54.
- [11] PINKAS L. Food habits study[J]. *Fishery Bulletin*,1971, 152: 5 - 10.
- [12] 刘其根,汪建敏,何光喜,等. 千岛湖渔业资源[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2011:45 - 124.
- [13] LIERMANN C R, NILSSON C, ROBERTSON J, et al. Implications of dam obstruction for global freshwater fish diversity[J]. *BioScience*, 2012, 62: 539 - 548.
- [14] MAGURRAN A E. *Ecological diversity and its measurement* [M]. Springer,1988,92(12):2285 - 2298.
- [15] 毛志刚,谷孝鸿,曾庆飞,等. 太湖鱼类群落结构及多样性[J]. *生态学杂志*,2011,30(12): 2836 - 2842.
- [16] 张涛,庄平,刘健,等. 长江口崇明东滩鱼类群落组成和生物多样性[J]. *水生态学杂志*, 2009,28(10): 2056 - 2062.
- [17] TAMMI J, LAPPALAINEN A, MANNIO J, et al. Effects of eutrophication on fish and fisheries in Finnish lakes: a survey based on random sampling[J]. *Fisheries Management and Ecology*,1999,6(3): 173 - 186.
- [18] 吴庆龙. 东太湖养殖渔业可持续发展的思考[J]. *湖泊科学*,2001,13(4): 337 - 344.
- [19] ANDERSON D M, GLIBERT P M, BURKHOLDER J M. Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences[J]. *Estuaries and Coasts*, 2002, 25(4): 704 - 726.
- [20] QIN B, YANG L, CHEN F, et al. Mechanism and control of lake eutrophication[J]. *Chinese science bulletin*, 2006,51(19): 2401 - 2412.
- [21] 于孝东,王力. 生态学视野下的水库渔业可持续发展困境及路径选择——千岛湖保水渔业例证[J]. *生态经济*, 2013(3):143 - 147.
- [22] 金刚,李钟杰,谢平. 湖泊渔业可持续发展的生态学基础及一个范例[J]. *湖泊科学*, 2003,15(1):69 - 75.
- [23] 侯冠军,李海洋,魏开金,等. 安徽渔业及其可持续发展对策[J]. *安徽农业科学*,2005, 33(11): 2201 - 2202.

Community structure and diversity of fishes in Qiandao Lake

HOU Wen-hua, HU Meng-hong, LIU Qi-gen

(Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Utilization of Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Gillnet surveys were conducted on the fishes resources in Qiandao Lake during July 2010 to October 2011 and March 2012 to February 2013. Transparency, total phosphorus, total nitrogen, chlorophyll a, nitrate, ammonia, temperature and other water quality parameters were measured simultaneously. 54 fish species were collected, belonging to 11 families, and 6 orders. Cypriniformes had the largest species number which accounted for 72.2% of the total. Ecotypes of different fish species were classified according to habitat and migratory ways, vertical distribution of the dwelling water layer and the diet types. The dominant species were of small and medium-sized sedentary fish such as *Xenocypris microlepis*, *Sinibrama macrops*, *Culter mongolicus*, and *Culter alburnus*. Fish diversity index was estimated using individual numbers or biomass, Margalef richness index D_N and D_W were 1.72 and 0.74 respectively, while Shannon diversity indices H'_N and H'_W were 1.40 and 1.41 respectively. Pielou evenness indices J'_N and J'_W in the Lake were 0.70 and 0.71, respectively.

Key words: community structure; diversity; Qiandao Lake; dominant species; alien fishes